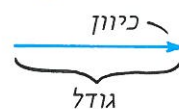


נספח ג עוד על וקטורים

וקטורים וסקלארים



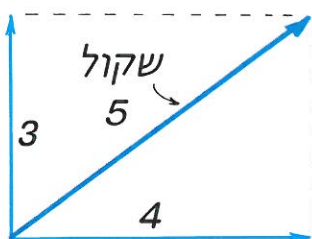
איור 1.ג

וקטור הוא גודל מכוון הנקבע לא רק על פי שיעורו (גודלו) אלא גם על פי כיוונו. בפרק 3 למדנו שמהירות היא וקטור. דוגמאות אחרות לווקטור הן כוח, תאוצה ותנע. לעומת זאת, סקלאר נקבע על פי גודלו בלבד. מספר דוגמאות לגדלים סקלאריים הן גודל המהירות, זמן, טמפרטורה ואנרגיה. גדלים וקטוריים ניתן להציג בעזרת חיצים. אורך החץ מייצג את גודל הווקטור וראש החץ את כיוונו. חץ כזה המשורטט בקנה מידה ומכוון כהלכה נקרא וקטור.

כאשר מחברים שני וקטורים מאותו סוג מתקבל וקטור שלישי, הקרוי הווקטור השקול.

כדי לחבר שני וקטורים, בונים מקבילית ששני הווקטורים מהווים שתי צלעות סמוכות שלה (איור 2.ג). (באיור זה המקבילית היא מלבן.) שרטטו את האלכסון היוצא מראשית זוג הווקטורים, והרי לכם השקול (איור 3.ג).

חיבור וקטורים



איור 3.ג



איור 2.ג

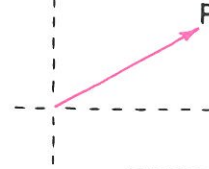
זהירות: השתדלו לא לערבב בין וקטורים! כשם שלא ניתן לחבר תפוחים ותפוזים, כך לא ניתן לחבר וקטור מהירות אלא לווקטור מהירות, וקטור כוח מתחבר רק לווקטור כוח ווקטור תאוצה מתחבר רק לווקטור תאוצה - כל סוג והתרישים הווקטוריים המיוחד לו. אם אי-פעם תציגו סוגים שונים של וקטורים באותו תרשים, השתמשו בצבעים שונים או היעזרו באמצעי אחר כדי להבחין בין סוגי הווקטורים השונים.

מציאת הרכיבים של וקטור

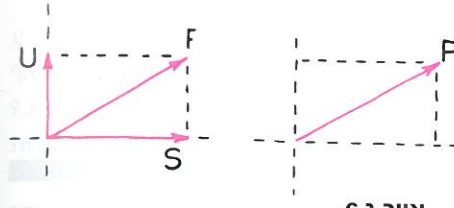
בפרק 3 ציינו שכדי למצוא לוקטור זוג רכיבים מאונכים, משרטטים תחילה קו מקוטע העובר בזנבו של הווקטור הנתון (בכיוונו של אחד הרכיבים הרצויים, איור ג.4). לאחר מכן משרטטים קו מקוטע נוסף, העובר אף הוא בזנבו של הווקטור וניצב לקו המקוטע הראשון (איור ג.5). בשלב השלישי בונים מלבן שאלכסונו הוא הווקטור הנתון. לבסוף, משרטטים את שני הרכיבים (איור ג.6). באיורים אלה F מייצג את "הכוח הכולל", U מייצג את "הכוח כלפי מעלה" ו- S את "הכוח האופקי".



איור ג.4



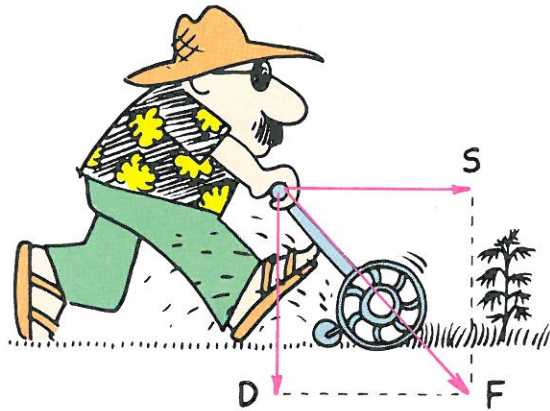
איור ג.5



איור ג.6

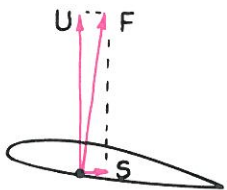
דוגמאות

1. אדם הדוחף מכסחת דשא מפעיל כוח הדוחף את המכונה הן קדימה והן כלפי הקרקע. באיור ג.7, F מייצג את הכוח שהאיש מפעיל. ניתן לפרק כוח זה לשני רכיבים. הווקטור D מייצג את רכיב הכוח הפונה אנכית מטה ו- S מייצג את הרכיב האופקי - את הכוח הדוחף את מכסחת הדשא קדימה. אם נדע מה גודלו וכיוונו של הווקטור F , נוכל להעריך על סמך התרשים הווקטורי את גודל הרכיבים.



איור ג.7

2. כדי להעלות מריצה על מדרגה, האם קל יותר לדחוף אותה או למשוך אותה? באיור ג.8 מוצג התרשים הווקטורי המתאים לכל אחד משני המצבים. כאשר דוחפים מריצה, חלק מהכוח מופנה מטה והדבר מקשה על העלייה. אולם



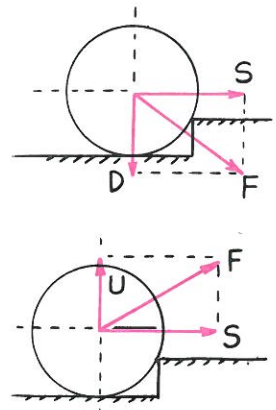
איור ג.10

איור ג.8

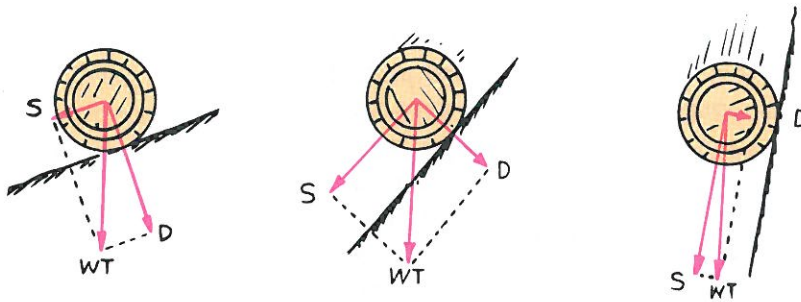
כשמושכים אותה, חלק מהכוח פונה מעלה ומסייע להעלות את הגלגל על המדרגה. שימו לב שהתנאים הווקטוריים רומזו כי ייתכן שדחיפת המריצה לא תעלה אותה כלל. האם הבחנתם כי גובה המדרגה, רדיוס הגלגל והזווית של הכוח המופעל יקבעו האם ניתן יהיה להעלות את המריצה על המדרג? אנו רואים שהשימוש בווקטורים מסייע לנו לנתח את המצב ולאבחן מהי הבעיה!

3. אם נתבונן ברכיבים של משקל הגוף המתגלגל במדרון (איור ג.9) נבין מדוע המהירות תלויה בזווית השיפוע. שימו לב שככל שהשיפוע תלול יותר, הרכיב S גדול יותר והגוף מתגלגל מהר יותר. כאשר השיפוע אנכי, S שווה למשקל, ולגוף תאוצה מרבית - 9.8 מטר לשנייה בריבוע.

קיימים שני וקטורי כוח נוספים שאינם מוצגים: הכוח הנורמלי (כוח התמיכה) N , השווה בגודלו ומנוגד בכיוונו ל- D , וכוח החיכוך f , הפועל בנקודת המגע בין החבית למדרון.



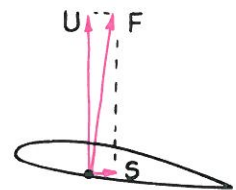
איור 8.2



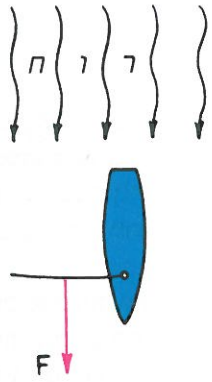
איור 9.2

4. כאשר אוויר נע פוגע בתחתיתה של כנף מטוס, ניתן לתאר את הכוח של פגיעת האוויר בכנף באמצעות וקטור אחד המאונך למשטח הכנף (איור ג.10). אנו מציגים את הכוח כפועל באמצע המשטח התחתון, במקום שבו מסומנת הנקודה, ופונה מעל לכנף בכיוון הכוח השקול של הרוח הפוגעת. ניתן לפרק כוח זה לשני רכיבים, האחד אופקי והשני כלפי מעלה. הרכיב הפונה מעלה, U , נקרא עילוי. הרכיב האופקי, S , נקרא גרר. אם המטוס אמור לנוע במהירות קבועה בגובה קבוע, אזי כוח העילוי צריך להשתוות למשקל המטוס וסחב מנועי המטוס חייב להשתוות לגרר. ניתן לשנות את גודל העילוי (והגרר) אם משנים את מהירות המטוס או את הזווית שבין הכנף ובין הכיוון האופקי (הנקראת זווית התקיפה).

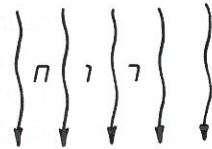
5. באיור ג.11 מתוארת חללית הנעה סביב כוכב לכת במגמת השעון. בכל נקודה במסלולה, החללית נמשכת על ידי כוח המשיכה הכבידתי F אל מרכז כוכב הלכת. בנקודה A, מופרד לשני רכיבים: f , המשיק למסלול החללית, ו- f' , המאונך למסלולה. בצלעות המלבן הדמיוני שרכיבים אלה בונים, ניתן



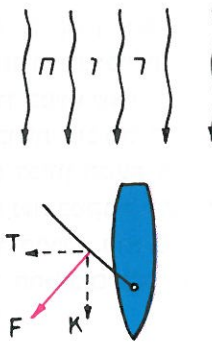
איור 10.2



איור 13.ג



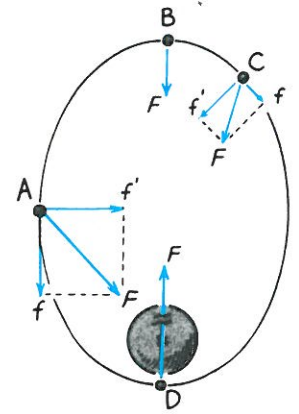
איור 14.ג



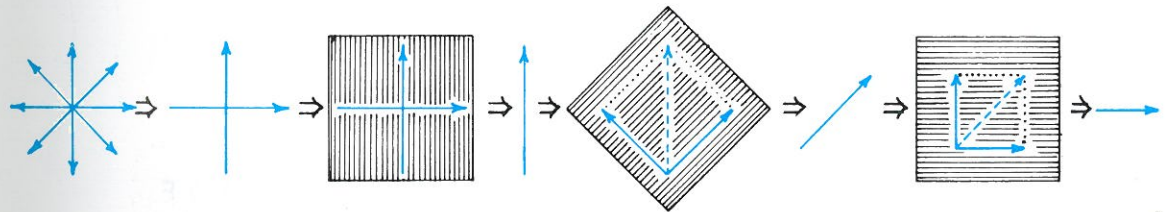
איור 15.ג

לראות את גודלם היחסי ביחס לגודלו של f ; ו- f' הם הצלעות ו- F הוא האלכסון. אנו רואים שהרכיב f משיק למסלול התנועה אך מנוגד לכיוון תנועת החללית. רכיב זה מקטין את גודל המהירות של החללית. הרכיב השני, f' , משנה את כיוון תנועת החללית ומסיט אותה מהקו הישר שעליו נטתה לנוע. לכן מסלול תנועת החללית מתעקם. החללית מאבדת מגודל מהירותה עד לנקודה B. בנקודה זו, הרחוקה ביותר מכוכב הלכת, כוח הכבידה קטן יותר אך מאונך לכיוון תנועת החללית, והרכיב f מתאפס. לעומת זאת, הרכיב f' גדל ושווה עתה ל- F . המהירות בנקודה זו אינה גבוהה דיה לתנועה במסלול מעגלי, והחללית מתחילה ליפול לעבר כוכב הלכת. מהירותה הולכת וגדלה, מפני שהרכיב f פונה עתה בכיוון תנועת החללית, כמתואר במצב C. מהירות החללית גדלה עד הגיעה לנקודה D, שבה שוב מהירותה מאונכת לכוח הכבידה, f' משתווה ל- F ו- f מתאפס. המהירות עולה על המהירות הדרושה לתנועה במסלול מעגלי במרחק זה, לכן החללית מתחילה להתרחק והתנועה חוזרת על עצמה. ההפסד במהירות במעבר מ-D ל-B שווה לרווח במהירות במעבר מ-B ל-D. קפלו גילה שמסלולי כוכבי הלכת הם אליפסיים, אולם לא הצליח להבין מדוע. האם אתם יודעים?

6. נתבונן במקטבים שבידי הילדה באיור 28.32, בפרק 28. באיור הראשון (1), אנו רואים שהאור עובר דרך זוג המקטבים מפני שציריהם מקבילים. ניתן לתאר את האור הנפלט כווקטור המקביל לצירי הקיטוב של המקטבים. כאשר צירי המקטבים מאונכים זה לזה (2), לא נפלט כל אור, מפני שהאור העובר דרך המקטב הראשון מאונך לציר הקיטוב של המקטב השני, ועל כן אין לו רכיב בכיוון ציר המקטב. באיור השלישי (3), אנו רואים שכאשר מכניסים בין שני המקטבים מקטב שלישי בזווית מסוימת ביחס לשני המקטבים, אזי מועבר אור. ההסבר לתופעה ניתן באיור 12.ג.



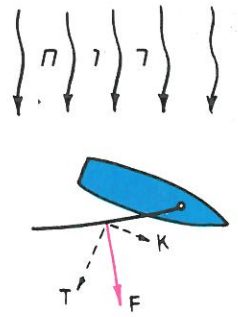
איור 11.ג



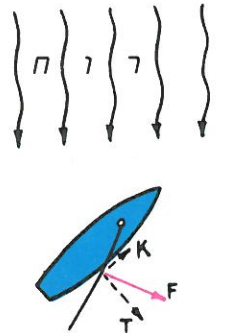
איור 12.ג

מאז ומעולם ידעו שייטים שסירות מפרש יכולות לנוע בכיוון תנועת הרוח, אולם לא תמיד ידעו השייטים שמפרשיות יכולות לנוע גם נגד הרוח. אחת הסיבות לכך קשורה לאביזר שקיים רק במפרשיות של ימינו - שדרית ייצוב - לוח דמוי סנפיר הנמצא עמוק במים לאורך תחתית הסירה ומבטיח שהסירה תנוע במים רק קדימה (או אחורה). בלי שדרית זו המפרשית עלולה להיסחף לצדדים.

מפרשיות



איור 16 ג



איור 17 ג

מפרשיות רבות הנעות בכיוון השונה מכיוון תנועת הרוח (איור ג.16) יכולות, כשמפרשיהן מופנים כהלכה, להגיע למהירויות העולות על מהירות הרוח. כאשר מפרשית "חותכת" את הרוח, הרוח יכולה להמשיך ולהפעיל כוח על המפרש גם במצב שבו מהירות המפרשית עולה על מהירות הרוח. בדומה לכך, גם מהירותם של גולשים יכולה לעלות על מהירות הגל אם הם מטים את הגלשן ביחס לגל. זוויות גדולות יותר ביחס לתווך הדוחף (הרוח במפרשית, הגל בגלשן) גורמות למהירויות גדולות יותר. מפרשית החותכת את הרוח יכולה לנוע מהר יותר מאשר בעת תנועתה בכיוון הרוח.

עד כמה שהדבר יראה מוזר, המהירות המרבית של מפרשית מתקבלת כשהיא חותכת נגד הרוח, כלומר, כשהמפרשית פונה בזווית קטנה ביחס לכיוון המנוגד לכיוון הרוח! אף שמפרשית אינה יכולה לנוע בדיוק נגד הרוח, אפשר להביאה ליעד שכיוונו מנוגד לכיוון הרוח, אם מפנים את המפרשית לסירוגין הנה והנה. תנועת זיג-זג כזאת נקראת בימאות פקימה. נניח שמצב המפרשית והמפרש הם כמתואר באיור ג.17. הרכיב K דוחף את המפרשית קדימה, אל תוך הרוח. במצב זה המפרשית מסוגלת לנוע במהירות העולה על מהירות הרוח, מפני שעם הגידול במהירותה, עוצמת פגיעת הרוח במפרש גדלה. הדבר דומה לריצה בגשם היורד בזווית. כאשר נעים נגד כיוון ירידת הגשם, הטיפות פוגעות בעוצמה רבה יותר ובתדירות גדולה יותר; אך כאשר נעים עם כיוון ירידת הגשם, הטיפות אינן פוגעות בעוצמה כה רבה או בתדירות כה גדולה. בדומה לכך, על מפרשית הנעה נגד הרוח פועל כוח גדול יותר, ואילו על מפרשית הנעה עם הרוח, הכוח שהרוח מפעילה קטן יותר. בכל מקרה, המפרשית מגיעה למהירות גבולית כאשר הכוחות המתנגדים מבטלים את הכוח שהרוח מפעילה. הכוחות המתנגדים כוללים בעיקר את התנגדות המים על גוף המפרשית. גוף המפרשיות מעוצב כך שהתנגדות המים תוקטן, מפני שזהו הגורם העיקרי שעשוי לעכב השגת מהירויות גבוהות.

סירות גלישה (סירות המצוידות במגלשיים כדי לנוע על קרח), אשר אינן נתקלות בהתנגדות כה גדולה כהתנגדות המים, בפנותן נגד הרוח, יכולות לנוע במהירות העולה פי כמה על מהירות הרוח. אף כי החיכוך כמעט שאינו קיים, סירת גלישה אינה מואצת ללא גבול. את מהירותה הגבולית קובעים לא רק כוחות החיכוך המתנגדים לתנועתה, אלא גם השינויים בכיוון תנועת הרוח. כאשר כיוון הסירה ומהירותה הם כאלה שנראה שהרוח נעה במקביל למפרש ולא לתוכו, התאוצה קדימה נפסקת - כך לפחות כאשר המפרש הוא שטוח. למעשה, מפרשים הם מעקמים היוצרים משטחי זרימה החשובים לכלי שיט בדיוק כמו לכלי טיס. השפעתם של אלה נדונה בפרק 13.

נספח ד

גידול מעריכי
וזמן ההכפלה*